NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. A. MICHEL-LÉVY,

Ingénieur en chef des Mines, Directeur du service de la Carte géologique de la France,
Lauréat de l'Académie des Sciences (prix Delesse, 1889).

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1894

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. A. MICHEL-LÉVY.

1864. Sorti premier de l'École Polytechnique (prix Laplace, 1865).

1880. Directeur adjoint du Laboratoire annexé à la chaire d'Histoire naturelle des corps inorganiques du Collège de France.

1885. Envoyé en mission scientifique par l'Académie des Sciences (mission d'Andalousie, part du prix Vaillant, 1886).

1886. Membre du Conseil d'Hygiène publique et de Salubrité de la Seine.

1887. Directeur des Services de la Carte géologique de la France et des topographies souterraines.

1892. Président de la Société géologique de France.

1894. Président de la Société française de Minéralogie.

Membre correspondant de la Société d'Histoire naturelle de Boston et de la Société géologique de Londres. Membre honoraire des Sociétés helvétique des Sciences naturelles, de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, vaudoise des Sciences naturelles, belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie.

Les travaux principaux de M. Michel-Lévy se rattachent à six branches distinctes de la Minéralogie et de la Géologie :

PREMIÈRE PARTIE.

ÉTUDES STRATIGRAPHIQUES.

1. *Note sur les roches porphyriques du terrain anthracifère* (Bulletin de la Société géologique, t. II, p. 24 ; 1873).
2. *Aperçu général sur la constitution du Morvan* (*id.*, t. VII, p. 758 ; 1878).
3. *Note sur la formation gneissique du Morvan et comparaison avec quelques autres régions de même nature* (*id.*, t. VII, p. 857 à 871 ; 1878).
4. *Sur les lambeaux de Lias surélevé du Morvan et sur les soulèvements successifs de cette région* (*id.*, t. VII, p. 901 ; 1878).
5. *Note sur le terrain houiller des environs de Montreuillon, le long de la bordure occidentale du Morvan* (*id.*, t. VII, p. 914 ; 1878).
6. *Compte rendu de diverses courses faites par la Société géologique dans sa réunion extraordinaire à Semur* (*id.*, t. VII, p. 844 à 942 ; 1878).
7. *Sur les roches éruptives basiques, cambriennes, du Mâconnais et du Beaujolais; aperçu général sur la constitution géologique de cette région* (*id.*, t. XI, p. 273 à 303 ; 1882).
8. *Sur la constitution géologique de la Serrania de Ronda* (en collaboration avec M. Bergeron, Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. C, p. 1054 ; 1885).
9. *Sur la base des terrains tertiaires des environs d'Issoire* (en collaboration avec M. Munier-Chalmas, *id.*, t. CI, p. 1179 ; 1885).
10. *Sur les roches éruptives et les terrains stratifiés de la Serrania de Ronda* (en collaboration avec M. Bergeron, *id.*, t. CII, p. 640 ; 1886).
11. *Sur les roches cristallophylliennes et archéennes de l'Andalousie occidentale* (en collaboration avec M. Bergeron, *id.*, t. CII, p. 709 ; 1886).
12. *Note sur les roches éruptives et cristallines des montagnes du Lyonnais* (Bulletin de la Société géologique, t. XVI, p. 216 ; 1887).

13. *Étude sur les environs d'Issoire* (en collaboration avec M. Munier-Chalmas; *id.*, t. XVII, p. 267; 1888).

14. *Étude géologique de la Serrania de Ronda* (Mission de l'Académie des Sciences en Andalousie). (En collaboration avec M. Bergeron, Mémoires des Savants étrangers, p. 171 à 375; 1889.)

15. *Situation stratigraphique des régions volcaniques de l'Auvergne* (Bulletin de la Société géologique, t. XVIII, p. 688; 1888).

16. *La chaîne des Puys* (*id.*, t. XVIII, p. 696 à 742; 1889).

17. *Le Mont-Dore et ses alentours* (*id.*, t. XVIII, p. 743 à 844; 1889).

18. *Compte rendu des excursions de la Société géologique à Gergovie, aux Puys, au Mont-Dore et à Perrier* (*id.*, t. XVIII, p. 887 à 952; 1889).

19. *Étude sur les roches cristallines et éruptives des environs du Mont-Blanc* (Bulletin n° 9 des Services de la Carte géologique de la France et des topographies souterraines, t. I, p. 1 à 26; 1890).

20. *Note sur la prolongation vers le sud de la chaîne des Aiguilles Rouges, montagnes de Pormenaz et du Prarion* (*id.*, t. III, Bulletin n° 27, p. 1 à 39; 1892).

21. *Sur les pointements de roches cristallines du Chablais* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XIV, p. 789; 1892).

22. *Sur les pointements de roches cristallines qui apparaissent au milieu du flysch du Chablais, des Gets aux Fénils* (Bulletin n° 27 des Services de la Carte géologique de la France et des topographies souterraines, t. III, p. 40 à 57; 1892).

En dehors de la part que M. Michel-Lévy a prise à la coordination des feuilles de la Carte géologique de la France, comme Directeur de ce service, il a personnellement contribué d'une façon active à la connaissance de la stratigraphie française. Il a consacré quinze années d'explorations à l'étude de la bordure orientale du Plateau central, des montagnes du Morvan à celles du Beaujolais et du Lyonnais, trois ans à celle de la Basse Auvergne, quatre ans à celle des Alpes de la Savoie. Il a en outre visité et décrit plusieurs districts intéressants du Limousin, de la Normandie, des environs de Lugano, de la Serrania de Ronda, de la Saxe et de la Bohême.

Les détails techniques qui suivent se rapportent aux cinq régions principales qui ont été spécialement l'objet des recherches stratigraphiques de l'auteur; ce sont : (I) le Morvan, le Charollais, le Beaujolais et le Lyonnais; (II) la chaîne des Puys et le Mont-Dore; (III) les chaînes du Mont-Blanc, des Aiguilles Rouges, de Pormenaz et du Prarion; (IV) les roches éruptives du Chablais; (V) le massif de la Serrania de Ronda, en Andalousie.

Dans chacune de ces régions, M. Michel-Lévy a reconnu le sens et la nature des plissements et des failles, analysé les accidents stratigraphiques, établi leur âge, décrit les roches éruptives et déterminé les modifications métamorphiques qu'elles ont produites sur les strates traversées.

I. — Morvan, Charollais, Beaujolais et Lyonnais.

La succession des terrains étudiés, le long de la bordure orientale du Plateau central, parcourt toutes les variétés de roches cristallophylliennes, le Précambrien, quelques assises du Dévonien, le Carbonifère marin, le Culm, le Houiller supérieur, le Permien; parmi les roches éruptives, il convient de citer en première ligne les granites et les porphyres, dont cette région présente les séries les plus instructives et les plus complètes. A ces roches acides, s'associent diverses venues de porphyrites comprenant dans un seul ensemble les dioritines de Commentry, les basanites de Noyant, les trapps du Morvan. Enfin, une venue basique, particulièrement intéressante, réunit les diorites d'Aydat aux roches similaires du Beaujolais et de la Loire.

Au point de vue stratigraphique, l'auteur a fait ressortir que les plis, qui affectent tout cet ensemble de terrains primaires, ont une direction Nord-Est qui les relie à ceux des Vosges et même aux plis d'âge analogue du bassin saxon de Hainichen; l'âge du plus grand mouvement orogénique de cette région a pu être daté avec précision : il s'intercale entre les tufs porphyriques du Culm, et les grandes éruptions de microgranulite. Cette dernière roche porphyrique est elle-même antérieure au Houiller supérieur; le maximum d'action des

forces tangentielles s'est donc exercé au milieu de l'ère carbonifère; mais elles n'ont cessé qu'après le dépôt des couches détritiques du Permien, sur les tranches relevées desquelles le Trias et le Lias se sont déposés horizontalement.

Dès les premiers plissements, les érosions avaient commencé et déjà fort avancé leur œuvre de nivellement, accumulant les produits détritiques du Houiller supérieur et du Permien dans les synclinaux déjà formés en bassins, et aussi dans des cluses transversales, coïncidant avec des failles de décrochement.

Ces décrochements présentent, dans certaines régions du Plateau central, une importance extraordinaire; ils sont généralement jalonnés par d'énormes filons de quartz plus ou moins minéralisés. M. Suess a depuis longtemps fait la remarque que l'action des forces tangentielles se traduit par des plissements perpendiculaires à leur direction, et par des fractures transversales (décrochements) parallèles aux forces et, par conséquent, normales aux plis. C'est à cet ordre de phénomènes qu'il faut rapporter les accidents à angle droit, formant parfois une sorte de réseau orthogonal dans le Beaujolais, dans le Charollais et en Auvergne.

Bien postérieurement à cet ancien soulèvement (plis varisques de M. Suess), de nouveaux mouvements du sol ont soulevé le Trias et le Lias du Plateau central à des altitudes dépassant 900m. En même temps un réseau de failles, extraordinairement complexe et rappelant les cassures des glaces tordues de M. Daubrée, séparait les terrains primaires de leur bordure secondaire. Il est même remarquable que la topographie actuelle se modèle surtout sur ces derniers accidents; le soulèvement carbonifère n'a laissé son empreinte visible que dans les montagnes du Lyonnais et du Pilate.

M. Michel-Lévy a collaboré au tracé de ces failles avec MM. Delafond, Le Verrier et Vélain. Il a montré que les unes représentent les décrochements simplement réouverts du soulèvement carbonifère, tandis que les autres sont en relation avec le soulèvement des Alpes, ou bordent les bassins d'effondrement dans lesquels se sont déposés les terrains tertiaires du Rhône, de la Loire et de l'Allier.

Des coupes transversales détaillées ont permis d'affirmer que les terrains secondaires et l'Éocène forment, le long du Plateau central,

un anticlinal à faible courbure dont la clef de voûte (granite du Charollais) s'est effondrée; ce grand *Horst* n'a donc pas entièrement résisté aux nouvelles forces tangentielles mises en jeu à l'époque tertiaire.

II. — La chaîne des Puys et le Mont-Dore.

On sait que, vers l'Ouest, les plis carbonifères affectent une direction Nord-Ouest dont le détroit de Poitiers et l'Armorique permettent de suivre les principaux axes.

Il était intéressant d'étudier en détail quelques-uns des éléments de la charnière le long de laquelle s'opère la jonction des plis Nord-Est (varisques) et des plis Nord-Ouest (armoricains). C'est en partie dans ce but que M. Michel-Lévy a entrepris l'étude de la feuille au $\frac{1}{80000}$ de Clermont-Ferrand et de ses abords. Il a pu suivre pied à pied le tracé du plus important géosynclinal du Plateau central, qui comprend, de l'Est à l'Ouest, les terrains primaires du Beaujolais, de la Loire, de Cusset, et, sur la rive gauche de l'Allier, les tufs et les lambeaux carbonifères de Châteauneuf, etc. L'axe de ce géosynclinal subit deux inflexions au passage des deux grands décrochements constitués par la faille du Forez et par la cluse houillère qui prend en écharpe tout le Plateau central. Jusqu'alors, cette traînée houillère avait été confondue avec les plis varisques, tandis qu'elle doit être assimilée à un de leurs décrochements. Les études consécutives de M. de Launay ont pleinement confirmé ces déductions, qui permettent de préciser la position stratigraphique des principaux centres volcaniques de la France.

On les voit occuper le sommet du triangle formé par les deux plus grands décrochements du Plateau central, précisément aux abords du point où ils convergent à droite et à gauche de la charnière des plis varisques et armoricains. C'est, toute proportion gardée, une position analogue à celle des massifs volcaniques de l'Asie Mineure. L'auteur a dressé, de cet ensemble de plis, de décrochements et de failles, une carte d'assemblage qui en fait ressortir les relations.

L'étude détaillée de la chaîne des Puys et du Mont-Dore a permis de préciser la nature et l'ordre de succession des nombreuses coulées de

laves de la région : dans la chaîne des Puys, les andésites ont été rigoureusement délimitées. Elles présentent toutes du péridot microlitique et il est curieux de constater qu'une roche, aussi connue et aussi étudiée que la lave de Volvic, contient en abondance un minéral qui avait échappé aux précédents observateurs. Dans la série du Mont-Dore, une série importante de téphrites à haüyne a été découverte et délimitée au-dessous des phonolites, à la partie supérieure des andésites à hornblende, dont M. Fouqué a si bien déterminé le niveau. Ces téphrites existent également dans le Cantal, où M. Boule en a récemment trouvé des représentants.

Dans le bassin tertiaire de la Limagne, l'auteur a découvert, aux environs d'Issoire, des calcaires à *Striatelles*, intercalés à la base des arkoses; cette faunule a été assimilée par M. Munier-Chalmas à celle du calcaire de Brie et, dès lors, la grande masse des arkoses de la Limagne, intercalées entre le niveau à *Striatelles* et les calcaires à *Potamides*, a pu être rapportée avec précision à l'étage des sables de Fontainebleau.

L'étude des coupes classiques de Perrier, entreprise en collaboration avec M. Munier-Chalmas, a permis de préciser l'âge de toutes les éruptions du Mont-Dore. La majeure partie d'entre elles se sont produites pendant la période caractérisée par la faune inférieure, à *Mastodontes*, de Perrier (Pliocène moyen).

III. — Les chaînes du Mont-Blanc.

L'étude des roches cristallophylliennes si variées du Plateau central prêtait un intérêt particulier à une comparaison approfondie avec les roches similaires de la chaîne des Alpes. M. Michel-Lévy a consacré quatre ans à l'exploration de la chaîne du Mont-Blanc, de celles des Aiguilles Rouges, des montagnes de Pormenaz et du Prarion.

La protogine a été définitivement classée parmi les roches granitiques franchement éruptives.

Aucun de ces schistes n'a pu être assimilé avec les gneiss francs du Plateau central; les variétés les plus feldspathisées, injectées par la granulite ou par la protogine, rappellent les micaschistes du Pilate,

injectés par les mêmes roches éruptives. D'autres variétés se rapportent, avec plus de précision encore, aux types de schistes précambriens modifiés à leur contact avec les granites. Telles sont les roches cornées traversées par le granite de Vallorcine. Deux longues traînées d'éclogites et d'amphibolites ont permis de suivre, sur les cartes, les directions des strates. On a pu ainsi constater que l'anticlinal des Aiguilles Rouges se prolonge vers le Sud par le principal anticlinal du Prarion, mais après avoir subi un grand décrochement et une torsion dont M. Haug a retrouvé la suite dans les terrains secondaires des environs de Sallanches.

M. Michel-Lévy a établi que la protogine est antérieure au Houiller, que ce terrain est nettement discordant sur les schistes précambriens de Pormenaz, enfin qu'au Prarion le Trias repose lui-même en discordance sur le Houiller.

Sur le flanc occidental du Prarion, des lambeaux étagés de Trias ont permis de reconstituer la structure complexe de cette montagne, dont les accidents viennent d'être retrouvés dans tous leurs détails, au sud du lac de la Girotte, par M. Ritter, et plus loin par M. Offret.

Et cependant, aux environs des Contamines, le laminage est tellement complet que toute trace des anticlinaux des Aiguilles Rouges disparaît momentanément, le synclinal versé de Chamonix venant toucher directement le complexe du mont Joli. Il n'en reste pas moins acquis que les plis de la chaîne de Belledone peuvent se suivre, les uns, jusqu'aux Aiguilles Rouges, les autres, jusqu'à Mégève et probablement jusque sous le Plateau des Gets.

IV. — Les roches éruptives du Chablais.

Une pareille disposition rend compte de l'intérêt exceptionnel qui s'attache aux singuliers pointements de roches éruptives qui apparaissent, accompagnés de grès et de poudingues rouges, aux environs des Gets dans le Chablais, en pleine région de flysch. Ces roches avaient été considérées tantôt comme erratiques, tantôt comme de l'âge même du flysch et en relation avec les grès de Taveyanaz qui en auraient été les tufs. Leur étude stratigraphique et pétrographique

infirme ces deux hypothèses : ce sont des protogines, des serpentines, des gabbros et des porphyrites variées dont plusieurs espèces variolitiques. La série basique est de tout point semblable à celle du mont Genèvre ou de la chaîne de Belledone. Ce sont donc des lambeaux de roches beaucoup plus anciennes que le flysch.

V. — La Serrania de Ronda.

Au cours de la mission envoyée par l'Académie des Sciences en Andalousie, M. Michel-Lévy s'est principalement attaché à l'étude des terrains cristallophylliens de la Serrania de Ronda. Ils présentent un intérêt spécial, tant à cause de l'abondance des cipolins qui y sont intercalés, que parce qu'ils sont percés par de puissantes éruptions de norites et de lherzolite. Indépendamment de l'intérêt pétrographique présenté par ces diverses roches, on a pu constater le passage des cipolins à de véritables amphibolites et à de magnifiques roches à chondrodite, humite et clinohumite, identiques à celles de Pargas. Des gneiss à cordiérite ont été découverts; on a vu des filons de granulite se transformer, en hauteur, en filons de quartz gras, simplement associé à de l'andalousite.

DEUXIÈME PARTIE.

ÉTUDES MINÉRALOGIQUES.

1. *Note sur divers états globulaires de la silice* (Bulletin de la Société géologique, t. V, p. 140; 1876).

2. *Sur un nouvel état globulaire du quartz* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. LXXXIII, p. 1301; 1876).

3. *Sables du Mesvrin, près Autun* (Bulletin de la Société minéralogique, t. I, p. 39; 1878).

4. *Sur la présence du zircon dans les gneiss du Morvan* (*id.*, t. I, p. 77; 1878).

5. *Identité probable du microcline et de l'orthose* (*id.*, t. II, p. 135; 1879).

6. *Sillimanite dans les gneiss du Morvan* (*id.*, t. III, p. 30; 1880).

7. *Sur les formes cristallines de la zircone et sur les déductions à en tirer pour la détermination du zircon* (en collaboration avec M. Bourgeois) (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XCIV, p. 812; 1882).

8. *Sur les noyaux à polychroïsme intense du mica noir* (Bulletin de la Société de Minéralogie, t. V, p. 133; 1882. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XCIV, p. 1196; 1882).

9. *Sur les formes cristallines de la zircone et de l'acide stannique* (en collaboration avec M. Bourgeois) (Bulletin de la Société de Minéralogie, t. V, p. 136; 1882).

10. *Tourmaline bleue dans les veines de pegmatite qui traversent les gneiss des environs de Chapey, près Marmagne* (*Saône-et-Loire*) (*id.*, t. VI, p. 326, 1883).

11. *Sur les minéraux du groupe de la humite des calcaires métamorphiques de diverses localités* (en collaboration avec M. Lacroix) (*id.*, t. IX, p. 81; 1886).

12. *Note sur un basalte riche en zéolites des environs de Perrier* (*id.*, t. X, p. 69; 1887).

13. *Sur un gisement français d'allanite* (en collaboration avec M. Lacroix) (*id.*, t. XI, 65; 1888).

14. *Réfringence et biréfringence de quelques minéraux des roches* (en collaboration avec M. Lacroix) (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. CVI, p. 277; 1888).

15. *Sur un nouveau gisement de dumortiérite* (en collaboration avec M. Lacroix) (*id.*, t. CVI, p. 1546; 1888).

16. *Nouvel exemple d'association d'andalousite et de sillimanite à axes parallèles* (en collaboration avec M. Termier) (Bulletin de la Société de Minéralogie, t. XII, p. 56; 1889).

17. *Propriétés optiques des auréoles polychroïques* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. CIX, p. 973; 1889).

18. *Sur de nouvelles formes de silice cristallisée* (*id.*, t. CX, p. 649; 1890).

19. *Indices principaux de l'anorthite* (en collaboration avec M. Lacroix) (*id.* t. CXI, p. 846; 1890).

20. *Sur un nouveau gisement d'andalousite dans les schistes carbonifères du Beaujolais* (Bulletin de la Société de Minéralogie, t. XV, p. 121; 1892).

21. *Mémoire sur diverses formes affectées par le réseau élémentaire du quartz* (en collaboration avec M. Munier-Chalmas) (*id.*, t. XV, p. 159; 1892).

M. Michel-Lévy a contribué aux progrès de la Minéralogie en imaginant de nouvelles méthodes d'investigation des plaques minces et des poudres de minéraux triturés. Il a pu mettre ainsi en évidence la présence de minéraux divers à l'état microscopique, dans des gisements où ils étaient entièrement inconnus. Quelques-uns d'entre eux sont particulièrement intéressants, à cause de leur extrême profusion dans les roches, dans lesquelles ils passaient pour très rares. Tel est le zircon qui jouit en outre de la propriété de produire autour de lui des modifications curieuses dans les minéraux englobants.

L'auteur a établi l'identité du microcline et de certains orthoses.

Il a démontré la liaison qui unissait entre elles les principales variétés de silice cristallisée.

Enfin, il a consacré, en collaboration avec M. Lacroix, deux années de travail à la détermination des constantes optiques de tous les minéraux qui figurent comme éléments des roches.

I. — Nouveaux gisements de minéraux.

L'auteur a trouvé de nombreux gisements et de nouvelles formes de minéraux dont quelques-uns étaient précédemment réputés rares : il a découvert la sillimanite à profusion dans les gneiss du Morvan et a constaté qu'elle fait partie du cortège des minéraux de contact de la granulite. La cordiérite a été signalée comme caractéristique d'une partie des gneiss du Plateau central; l'andalousite a été trouvée en rosettes de forme rare dans les schistes du Culm du Beaujolais, la tourmaline bleue dans les pegmatites de Marmagne, la humite dans les cipolins de la Serrania de Ronda, le dipyre dans les *gabbros tachetés* au contact des filons d'apatite de Bamle, la dumortiérite dans la cordiérite de Tvedestrand, l'allanite dans un granite de Bretagne et dans la protogine du Mont Blanc, etc.

II. — Existence du zircon dans tous les granites, etc.

Le mica noir de toutes les roches éruptives contient des taches à polychroïsme intense, à pigment très coloré. Au centre de ces taches, se montre un minéral très réfringent et très biréfringent, en grains de petite taille, qui avait été pris pendant longtemps pour du sphène. Les propriétés optiques ont montré que cette hypothèse ne pouvait être acceptée, car elles se rapportaient à celles du zircon. Pour corroborer cette détermination, M. Michel-Lévy a pu extraire d'une pegmatite de Latívelet (près Autun) quelques centigrammes du corps en question et en prendre la densité. En outre, il a découvert (en collaboration avec M. Bourgeois) une réaction microchimique très sen-

sible qui permet de déceler moins de $0^{mgr},1$ de zircone. Ainsi a été établie la profusion du zircon qui ne fait défaut dans aucun granite et qui y forme d'innombrables petits cristaux microscopiques.

III. — Auréoles polychroïques.

Les auréoles polychroïques qui se développent autour du zircon ne sont pas particulières au mica noir; elles se montrent aussi dans les micas blancs, l'amphibole, la tourmaline, l'andalousite, la cordiérite, etc. M. Michel-Lévy a montré que l'allanite et la dumortiérite jouissent, à ce point de vue, de propriétés aussi énergiques que le zircon. Quant à la nature de ces auréoles qui disparaissent au rouge naissant, elle paraît due à une action sur le pigment des minéraux ambiants; en tout cas, la biréfringence du minéral est modifiée très énergiquement en même temps que son polychroïsme.

IV. — Identité du microcline et de l'orthose.

L'identité probable du microcline et de l'orthose, qui ne serait qu'un microcline submaclé, a été l'objet d'une note corroborée par ce fait que la méthode des éclairements communs (*voir* troisième Partie) démontre rigoureusement que le pseudo-orthose, associé au microcline, est tout simplement constitué par les parties des plaques minces dans lesquelles les lamelles maclées du microcline se recouvrent mutuellement.

V. — Études de diverses variétés de silice cristallisée.

M. Michel-Lévy a été amené, par l'étude des sphérolites des roches acides, à découvrir diverses formes nouvelles de silice cristallisée, ayant sensiblement la réfringence, la biréfringence et la densité du quartz. Dans les porphyres des Settons, il a trouvé de petits globules à transparence hyalitique qui s'éteignent dans un seul sens optique entre les nicols croisés et constituent une variété de quartz.

M. Munier-Chalmas lui a confié l'étude optique d'une série de formes nouvelles de silice épigénisant les couches de gypse, sur les bords des vallées du bassin tertiaire de Paris. Cette étude a présenté un puissant intérêt théorique; car elle a mis en évidence que le réseau élémentaire du quartz est à deux axes optiques écartés de près de 30°, autour d'une bissectrice positive. Les fibres élémentaires s'allongent tantôt suivant cette bissectrice (quartzine), tantôt suivant la bissectrice négative (calcédoine). Des groupements ternaires amènent la quartzine à former le quartz. D'autres groupements plus complexes constituent des formes nouvelles (lutécite, etc.). Quant à la calcédoine, elle a une tendance aux groupements réguliers hélicoïdaux donnant naissance à de beaux sphérolites, avec zones concentriques alternativement éteintes et brillantes entre les nicols croisés.

VI. — Indices principaux des minéraux des roches.

Utilisant les réfractomètres et les nouvelles liqueurs à grand indice, M. Michel-Lévy a fait, en collaboration avec M. Lacroix, de nombreuses déterminations des indices principaux de réfraction de la plupart des minéraux des roches encore inétudiés à ce point de vue; les déterminations ont été faites à deux décimales près du troisième ordre; mais les biréfringences s'en déduisent à moins d'une décimale près de même ordre. On verra plus loin que ces déterminations, qui ont nécessité un travail de plus de deux années, constituent un moyen de diagnostic tout à fait efficace au microscope.

TROISIÈME PARTIE.

APPLICATION DES MÉTHODES OPTIQUES USITÉES EN MINÉRALOGIE A L'ÉTUDE DES MINÉRAUX DES PLAQUES MINCES.

1. *De l'emploi du microscope polarisant à lumière parallèle pour l'étude des plaques minces de roches éruptives* (Annales des Mines, t. XII, p. 394 à 480; 1877. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 4 février 1878. — Résumé par M. Bucking, Zeitschrift für Kristallographie und Mineralogie, t. III, p. 217; 1879.)
2. *Sur les positions d'égale intensité lumineuse dans les cristaux maclés, entre les nicols croisés. Application à l'étude des bandes concentriques des feldspaths* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XCIII, p. 93, et t. XCIV, p. 178; 1882).
3. *Sur la nature des sphérolites faisant partie intégrale des roches éruptives* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XCIV, p. 464; 1882).
4. *Mesure du pouvoir biréfringent des minéraux en plaque mince* (Bulletin de la Société de Minéralogie, t. VI, p. 143; 1883).
5. *Sur les positions d'égale intensité lumineuse de deux minéraux juxtaposés en plaque mince. Application aux plaques composées de deux minéraux superposés dans l'épaisseur de la plaque mince* (*id.*, t. VI, p. 219; 1883).
6. *Note sur la biréfringence de quelques minéraux; application à l'étude des roches en plaque mince* (*id.*, t. VII, p. 43; 1884).
7. *Les minéraux des roches, première Partie : Application des méthodes optiques à l'étude des minéraux en plaque mince* (Paris, Baudry, p. 1 à 135; 1889).
8. *Les minéraux des roches, deuxième Partie : Monographie des principaux minéraux* (en collaboration avec M. Lacroix) (Paris, Baudry, p. 135 à 334; 1889).

9. *Tableaux des minéraux des roches* (en collaboration avec M. Lacroix) (Paris, Baudry, 1890).

10. *Sur les moyens : 1° de reconnaître les sections parallèles à g^1 des feldspaths dans les plaques minces de roches; 2° d'en utiliser les propriétés optiques* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. CXI, p. 700; 1890).

11. *Étude sur la détermination des feldspaths* (Paris, Baudry, p. 1 à 71, avec 8 planches; 1894).

Un des reproches adressés aux pétrographes qui se sont servis les premiers du microscope et des plaques minces consistait à considérer leurs déterminations comme peu précises et, pour ainsi dire, faites au jugé. M. Michel-Lévy, qui a contribué avec M. Fouqué à introduire en France les nouvelles études pétrographiques, s'est attaché, dès ses premiers travaux (1874), à trouver de nouveaux procédés précis de détermination optique, basés sur les méthodes de la Minéralogie, mais tenant compte des nécessités inhérentes à l'examen des plaques minces : en effet, on n'y dispose pas de l'orientation des sections des minéraux à étudier; mais ce désavantage est racheté par le grand nombre de sections à orientations variées que l'on peut observer.

Dès lors toutes les mesures, susceptibles de fournir des maxima ou des minima caractéristiques, peuvent amener à des résultats précis : tels sont les angles d'extinction en lumière parallèle, entre les nicols croisés, rapportés à une direction déterminée; telles les biréfringences, les réfringences.

Les sections des minéraux vus au microscope polarisant, en plaque mince, se parent de couleurs variées, dont l'intensité change lorsqu'on fait tourner la plaque mince sur la platine du microscope. Pour une rotation complète, il y a quatre positions d'intensité maximum et quatre autres dans lesquelles le minéral paraît obscur. Tous les éléments de ces observations si simples peuvent servir au diagnostic du minéral étudié : les positions dans lesquelles le minéral devient

obscur, rapportées à ses directions d'allongement, d'aplatissement ou de macle, permettent de déterminer des angles dont la lecture est caractéristique.

Les couleurs, rapportées à la gamme de Newton, sont en relation directe avec la différence des indices principaux de réfraction de chaque minéral.

Dans certains cas, les intensités lumineuses de deux minéraux, juxtaposés en lame mince, donnent un moyen délicat de juger de leur orientation et de leur degré de pureté; par une rotation convenable, on arrive non seulement à égaliser les intensités lumineuses des deux minéraux voisins, mais encore de toutes les parties où ils se pénètrent mutuellement. Dès lors, l'ensemble doit paraître homogène et les corps étrangers font tache.

Les détails techniques qui suivent développent ces diverses applications du microscope polarisant et expliquent la précision des lectures auxquelles conduit chacune des méthodes énumérées qui ont été l'œuvre principale de l'auteur.

I. — Angles d'extinctions caractéristiques.

Un grand nombre de minéraux présentent une direction d'allongement, ou un plan d'aplatissement, ou encore un plan de macle favoris. Dans ces divers cas, les sections parallèles à l'allongement, ou perpendiculaires au plan d'aplatissement, ou encore à celui de macle, sont faciles à reconnaître et sautent pour ainsi dire aux yeux dans les plaques minces. Ce sont en somme toutes les sections du minéral passant par une droite déterminée ou arête de zone.

M. Michel-Lévy a étudié les extinctions de ces sections en zone et donné les moyens de tracer les courbes des angles que font ces directions d'extinction avec celle de l'arête de zone. Il a montré que ces courbes passent par 0° et par un maximum absolu généralement caractéristique, pour une rotation de 180° du plan mobile de la zone.

Lorsque l'arête de zone est contenue dans un des plans principaux d'élasticité optique, un abaque général donne immédiatement la courbe cherchée. Les maxima caractéristiques des pyroxènes, des amphiboles, du disthène, etc., ont été ainsi déterminés.

Dans le cas le plus général, qui est celui des feldspaths tricliniques, il est nécessaire de construire une épure détaillée pour chaque minéral. La détermination précise des feldspaths, même en microlites, a une telle importance au point de vue de la classification des roches, que l'auteur a cru utile de dresser une épure détaillée pour chacun des principaux plagioclases; les extinctions y sont rapportées à la trace du plan d'aplatissement et de macle g^1. On a tracé les courbes d'égale extinction et d'égale biréfringence. Dès lors, non seulement la zone perpendiculaire à g^1 devient caractéristique pour chaque feldspath, mais encore une section quelconque suffit à la détermination et à l'orientation d'un plagioclase, quand les macles de l'albite et de Carlsbad y coexistent, ce qui est un cas fréquent.

II. — Positions d'égale intensité lumineuse.

La méthode des éclairements communs, ou positions d'égale intensité lumineuse, s'associe fructueusement à la recherche des zones principales d'extinction. Si deux corps, faiblement biréfringents, sont juxtaposés en plaque très mince, il existe huit positions, quatre par quatre à angles droits, dans lesquelles ces deux corps paraissent également éclairés entre les nicols croisés. Dans quatre de ces positions, l'éclairement commun est *général* et s'étend même aux parties où les deux minéraux se superposent. Pour les quatre autres, ces parties mixtes s'éteignent ou se compensent partiellement.

On voit dès lors que la méthode permet de vérifier si l'on a affaire seulement à deux corps juxtaposés ou à plus de deux.

Dans la zone de symétrie de la macle de l'albite, les quatre positions d'éclairement *général* des feldspaths sont à 45° de la trace de la macle; les quatre autres sont à 0° et à 90°; d'où un moyen rapide et sensible de vérifier si une section est ou non voisine de la zone en question. En outre, la méthode permet d'effacer, pour ainsi dire,

la macle de l'albite ; dès lors, les autres macles sautent aux yeux.

L'application au microcline démontre que les parties des sections, qui simulent l'orthose, sont simplement les régions dans lesquelles le faisceau lumineux traverse plusieurs lamelles hémitropes. Car il y a toujours quatre positions d'éclairement commun général pour les microclines; ils ne sont donc composés que de deux corps optiquement différents qui sont le cristal fondamental et son retournement de 180° autour d'un axe perpendiculaire à g^1.

L'application aux plagioclases zonés montre que toutes les zones présentent généralement entre elles le phénomène de l'éclairement commun, si nombreuses soient-elles. Il est donc assuré que deux corps distincts seulement composent toutes ces zones, et il est vraisemblable que ces corps sont l'albite et l'anorthite.

III. — Détermination des biréfringences.

La biréfringence d'une section quelconque d'un minéral n'est fonction que de l'épaisseur de la plaque mince et de la différence entre le plus grand et le plus petit axe de l'ellipse, découpée par la plaque dans l'ellipsoïde inverse des vitesses de Fresnel (ellipsoïde des indices principaux). Si l'on suppose l'épaisseur de la plaque mince déterminée au moyen d'un minéral témoin ou par une mesure sphérométrique appropriée, la différence des indices sera déterminée par la position, dans la gamme de Newton, de la couleur dont se pare la plaque mince. Cette différence est susceptible de varier, pour chaque minéral, de 0 (sections perpendiculaires aux axes optiques) à un certain maximum (section parallèle au plan des axes optiques). M. Michel-Lévy a déterminé un grand nombre de ces biréfringences maxima et montré qu'elles sont, en général, très caractéristiques; car, pour les principaux minéraux des roches et pour les épaisseurs ordinaires (1 à 3 centièmes de millimètre), ces teintes produites s'échelonnent dans les trois premiers ordres de Newton, et les biréfringences, observées à une unité près du troisième ordre, croissant en valeur relative de 0 à 100.

Une abaque a été établie, permettant de déduire à première lecture, de la teinte observée et de l'épaisseur connue de la plaque mince, la

biréfringence et, par suite, le minéral à l'étude. Pour faciliter la détermination de la teinte, l'auteur a imaginé un *comparateur* permettant de juxtaposer en pleine lumière les teintes du minéral observé avec celles d'un quartz en biseau [1].

IV. — Détermination des réfringences.

La détermination pratique et précise des indices de réfraction des minéraux en plaque mince a pu tout récemment être réalisée, grâce à un moyen imaginé par M. F. Becke pour reconnaître le plus réfringent de deux minéraux qui se touchent. M. Michel-Lévy a montré qu'en combinant l'emploi du procédé Becke avec celui des liqueurs réfringentes et notamment de la liqueur Daniel Klein plus ou moins diluée, on arrive à déterminer les indices de réfraction à deux unités près du troisième ordre.

V. — Détermination de la bissectrice aigue.

C'est à von Lasaulx qu'on doit le procédé pratique d'application de la lumière convergente aux plus petits minéraux des plaques minces. M. Michel-Lévy a insisté sur les conditions de symétrie que présentent les images des sections perpendiculaires à un plan principal d'élasticité optique; il a donné les moyens de reconnaître si ce plan est, ou non, le plan des axes optiques; enfin, il a décrit une méthode (basée sur la dislocation d'hyperboles équilatères que l'on rend tangentes à un cercle de comparaison) pour déterminer dans tous les cas le signe d'une bissectrice.

---

[1] MM. Nachet et Fuess ont construit des comparateurs de ce modèle.

QUATRIÈME PARTIE.

ÉTUDES PÉTROGRAPHIQUES.

1. *Note sur quelques roches analogues aux porphyres granitoïdes de la Loire* (Bulletin de la Société géologique, t. II, p. 60; 1873).

2. *Note sur une classe de roches intermédiaires entre le granite porphyroïde et les porphyres granitoïdes* (*id.*, t. II, p. 177; 1874).

3. *Granulites et porphyres quartzifères des environs d'Avallon* (en collaboration avec M. Douvillé) (*id.*, t. II, p. 189, 1874).

4. *De quelques caractères microscopiques des roches anciennes acides, considérées dans leurs relations avec l'âge des éruptions* (*id.*, t. III, p. 199; 1874).

5. *Mémoire sur les divers modes de structure des roches éruptives, étudiées au microscope au moyen de plaques minces* (Annales des Mines, t. VIII, p. 337, 1875, avec planches en photogravure. — Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, 8 novembre 1875).

6. *Note sur les roches porphyriques de Lugano* (Bulletin de la Société géologique, t. IV, p. 3; 1875).

7. *Roches éruptives granitoïdes, terrains porphyriques houiller et permien de l'Autunois* (*id.*, t. IV, p. 729; 1876).

8. *Note sur le Kersanton* (en collaboration avec M. Douvillé) (*id.*, t. V, p. 51; 1876).

9. *Observations sur l'origine des roches éruptives vitreuses et cristallines* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. LXXXIII, p. 749; 1876).

10. *Mémoire sur la variolite de la Durance* (Bulletin de la Société géologique, t. V, p. 232; 1877).

11. *Des différentes formes de sphérolites dans les roches éruptives* (*id.*, t. V, p. 257; 1877).

12. *Mémoire sur les ophites des Pyrénées* (*id.*, t. VI, p. 156; 1877).

13. *Association pegmatoïde de l'amphibole et du feldspath dans les amphibolites de Marmagne* (Bulletin de la Société minéralogique, t. I, p. 41; 1878).

14. *Sur une roche à wernérite granulitique de Bamle* (*Norvège*) (*id.*, t. I, p. 43; 1878).

15. *Sur le gisement de l'amphibolite à wernérite granulitique d'Odegaard près Bamle* (*id.*, t. I, p. 19; 1878).

16. *Quelques observations au sujet des roches à fer natif d'Ovifak* (*id.*, t. I, p. 41; 1878).

17. *Mémoire sur les porphyrites micacés du Morvan* (Bulletin de la Société géologique, t. VII, p. 873; 1878).

18. *Note sur les roches accompagnant le diamant dans l'Afrique australe* (en collaboration avec M. Fouqué) (Bulletin de la Société de Minéralogie, t. II, p. 216; 1879).

19. *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises* (en collaboration avec M. Fouqué; Mémoires pour servir à l'explication de la Carte géologique détaillée de la France, p. 1 à 501, atlas de 55 planches; 1879) (1).

20. *Examen microscopique de quelques roches de Majorque et de Minorque* (en collaboration avec M. Fouqué; Thèse inaugurale de M. Hermite; 1879).

21. *Mémoire sur les schistes micacés de Saint-Léon* (*Allier*) (Bulletin de la Société géologique, t. IX, p. 181 à 211; 1880).

22. *Association en forme de pegmatite graphique de grenat et de quartz dans les pegmatites de Champrond près de Mesvre* (*Saône-et-Loire*) (Bulletin de la Société de Minéralogie, t. VI, p. 329; 1883).

23. *Description de quelques roches d'Auvergne* (Bulletin de la Société géologique, t. XII, p. 780; 1883).

24. *Sur quelques nouveaux types de roches provenant du Mont-Dore* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XC, p. 1394; 1884).

25. *Sur une téphrite néphélinique de la vallée de la Jamma* (*Royaume de Choa*) (*id.*, t. CII, p. 481; 1886).

---

(1) Ouvrage épuisé.

26. *Sur une roche anomale de la vallée d'Aspe (Basses-Pyrénées)* (en collaboration avec M. Jacquot, *id.*, t. CII, p. 523; 1886).

27. *Sur les roches recueillies dans les sondages opérés par le « Talisman »* (en collaboration avec M. Fouqué) (*id.*, t. CII, p. 793; 1886).

28. *Mémoire sur l'origine des terrains cristallins primitifs* (Bulletin de la Société géologique, t. XVI, p. 103; 1887. — Congrès géologique international de Londres).

29. *Sur le granite à amphibole de Vaugneray, près Lyon* (en collaboration avec M. Lacroix) (Bulletin de la Société de Minéralogie, t. X, p. 27; 1887).

30. *Sur un gisement français de mélaphyres à enstatite* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. CVIII, p. 597; 1889).

31. *Sur l'existence d'une néphélinite à Rougiers (Var)* (en collaboration avec M. Collot) (id., t. CVIII, p. 1124; 1889).

32. *Structures et classification des roches éruptives* (Paris, Baudry, p. 1 à 93; 1889).

33. *Existence du péridot microlitique dans les andésites et les labradorites de la chaîne des Puys* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. CX, p. 1007; 1890).

34. *Contribution à l'étude du granite de Flamanville et des granites français en général* (Bulletin n° 36 des Services de la Carte géologique de France et des Topographies souterraines, p. 1 à 41, avec 5 photogravures; 1893).

Les études pétrographiques de M. Michel-Lévy comportent un grand nombre de monographies dans lesquelles l'auteur s'est astreint à des déterminations précises qui lui ont permis de reconnaître de nouveaux types de roches : gabbros à wernérite grenue, mélaphyres à microlites d'enstatite, andésites à microlites de péridot, porphyrites à microlites d'albite, variolites à sphérolites d'oligoclase, etc.

On lui doit le premier Mémoire d'ensemble sur les structures des roches éruptives et la découverte des types de passage entre les granites les plus cristallins et les porphyres les plus vitreux. Plusieurs

des noms de structure, imaginés par l'auteur, ont été universellement acceptés.

La relation complexe qui existe entre les structures des roches, leurs conditions de gisement et leur âge géologique a conduit à la discussion approfondie des bases d'une classification rationnelle qui puisse être universellement adoptée.

La genèse du granite, son action sur les terrains voisins et l'origine des gneiss et des schistes cristallins ont fait l'objet de plusieurs Mémoires dans lesquels est démontrée l'intime connexion de ces divers problèmes qui se résument dans les conditions de fusion hydrothermique des magmas granitiques.

I. — Principales structures des roches.

M. Michel-Lévy s'est d'abord attaché à définir avec précision les structures des roches, principalement caractérisées par le mode d'association des minéraux qui se consolident en dernier lieu dans le magma éruptif. Ces minéraux admettent, ou non, les produits cristallisés ou colloïdes de la silice, suivant le degré d'acidité de la roche.

Dans les roches acides, l'auteur a montré qu'il existait tous les passages entre les granites et les porphyres les plus vitreux, entre les roches à deux temps de consolidation peu distincts et celles dans lesquelles les facteurs de la cristallisation ont subi une modification brusque et profonde. Toutes les structures des roches acides sont caractérisées par les divers modes d'association des deux minéraux qui cristallisent en dernier lieu, orthose et quartz. La structure est *granitique* quand le quartz, sans forme propre, moule les autres éléments; *granulitique* quand il tend à prendre la forme bipyramidée à prisme très raccourci; *pegmatoïde* quand le quartz et l'orthose cristallisent simultanément en forme de pegmatite graphique. La *microgranulite* et la *micropegmatite* existent à profusion dans les pâtes les plus adélogènes de certains porphyres quartzifères. Le nom de *micropegmatite* a été universellement adopté par les pétrographes.

Certaines micropegmatites se disposent en étoilements de plus en

plus fins qui passent par gradations insensibles aux sphérolites des porphyres pétrosiliceux; l'auteur a trouvé la confirmation de ces passages dans une classe très nombreuse de porphyres, qui ont été dits à *quartz globulaire*, dans lesquels les sphérolites, bien que radiés et concrétionnés, sont imprégnés de quartz orienté dans une seule direction et s'éteignent comme ferait un cristal unique. Ces sphérolites forment bien la transition entre les micropegmatites à étoilements et les sphérolites à croix noire des porphyres plus vitreux.

Les roches basiques ne présentent pas d'aussi nombreuses structures que les roches acides; elles peuvent être *grenues*, *ophitiques*, *microlitiques* ou *variolitiques*. M. Michel-Lévy a donné des monographies détaillées des ophites, des porphyrites micacées et des variolites. Il a montré que les sphérolites des variolites sont composés de fibres d'oligoclase; cette structure arborisée convient à des roches de contact, brusquement refroidies après arrêt complet du magma.

La composition des ophites, la transformation partielle de leur augite en diallage et en amphibole (ouralisation), enfin l'étude de leur structure ont fait l'objet d'un Mémoire détaillé; ce sont des diabases, dans lesquelles le pyroxène moule des lamelles feldspathiques semées au hasard, et cette structure témoigne tout à la fois d'un repos complet pendant la cristallisation de l'augite et d'une certaine rapidité de prise en masse; en fait, elle s'applique à des roches intrusives et à des roches de coulées épaisses. Le nom de *structure ophitique* a été universellement adopté.

II. — Principes d'une classification des roches éruptives.

Dans un Mémoire étendu, M. Michel-Lévy a cherché à faire prévaloir l'idée qu'une classification des roches éruptives doit être uniquement basée sur les notions contingentes de structure et de composition minéralogique. Les facteurs de la cristallisation sont multiples : la composition chimique du magma, la température, son refroidissement plus ou moins brusque, les vapeurs et les gaz sous pression exercent une action complexe sur le résultat définitif. Ces facteurs sont peut-être en relation avec l'âge de la roche, et évidemment liés dans leur évolution à ses conditions de gisement; mais il n'est pas

possible de donner, de cette relation, une formule assez simple pour remplacer la notion de structure par celle de gisement. Ainsi, il y a des porphyres, des variolites, des ophites d'épanchement, de filons, de contact en profondeur, qu'on ne peut distinguer les uns des autres.

La composition minéralogique, qui sert en définitive à multiplier les subdivisions et à les rendre caractéristiques, doit être fixée avec une grande précision; car elle doit comprendre en elle-même une notion précise de la composition chimique; il est nécessaire que le nom de la roche en soit un reflet complet et fidèle. On doit donc protester contre l'importance exagérée attribuée aux grands cristaux, aux dépens des microlites (cristaux de petite taille, de dernière consolidation) plus difficiles à déterminer, mais souvent plus abondants par leur masse. Le nom de *plagioclase* a été longtemps un écueil des nomenclatures pétrographiques. Il y a lieu d'espérer que, grâce aux nouveaux procédés de détermination précise auxquels il a été fait allusion dans la deuxième partie de cette notice, ces noms trop vagues disparaîtront définitivement.

III. — Évolution des magmas éruptifs.

Le mode de formation des roches éruptives et cristallines soulève un grand nombre de questions, actuellement encore en litige; on verra plus loin que MM. Fouqué et Michel-Lévy ont considérablement augmenté le domaine de la fusion purement ignée et montré que les structures des roches basiques dépendent presque exclusivement de la composition chimique du magma et des conditions du refroidissement.

Mais le domaine des fusions hydrothermiques sous pression du métamorphisme et, en général, de l'action des minéralisateurs, est encore en partie tributaire de l'observation. Les reproductions synthétiques, malgré leur nombre croissant et leur grand intérêt, n'y ont pas apporté la lumière complète des solutions définitives.

L'auteur s'est d'abord occupé de la relation qui peut exister entre la structure intime des roches acides et leur âge géologique. Il a établi que, conformément aux idées de Gruner, la série éruptive du Plateau central comporte successivement des granites, des granulites,

des microgranulites et des porphyres pétrosiliceux. Quelles que soient les causes de cette succession, qui s'applique ici à des roches carbonifères et permiennes, elle suppose une diminution d'activité des facteurs de la cristallisation dont l'étude micrographique permet de préciser les dégradations successives.

Mais, dès 1874, M. Michel-Lévy annonçait que toutes les structures des roches acides se reproduisent dans le même ordre, lors des éruptions tertiaires. Actuellement les récurrences se sont multipliées; les études de détail en Angleterre, dans le Harz, en Bretagne ont montré que chaque ensemble granitique présente des séries analogues, quel que soit l'âge de ses premières manifestations. Il s'agit donc d'une évolution du magma éruptif, à partir du moment où ce magma quitte les profondeurs infratelluriques; c'est, du moins, la conclusion à laquelle l'auteur s'est rangé dans son étude sur le granite de Flamanville.

IV. — Genèse des granites et des gneiss.

La genèse des granites et des gneiss soulève un grand nombre de questions à la fois stratigraphiques et pétrographiques. L'étude des massifs granitiques du Plateau central, et notamment du Charollais et du Beaujolais, avait démontré que, le plus souvent, ces massifs apparaissent au jour par érosion, au centre des principaux anticlinaux. Quand la dénudation a été intense, on voit les granites injecter, lit par lit, les gneiss et les micaschistes voisins; dès 1877, M. Michel-Lévy a appelé l'attention sur ces gneiss *granitiques* et *granulitiques*, et ses idées, d'abord combattues par une partie de l'École allemande, paraissent recevoir des confirmations et des adhésions de plus en plus nombreuses.

Il a, en outre, montré que le mécanisme de production de ces roches hybrides est en tout conforme à celui des schistes de tout âge, feldspathisés au contact des dykes de granite. Seulement, lorsque ces dykes s'élèvent, traversent les couches successives de l'écorce terrestre et ne sont pas décapés très profondément, la zone des schistes feldspathisés diminue d'épaisseur et fait place à celle des schistes micacés, en tout analogues aux micaschistes.

L'étude des schistes précambriens de Saint-Léon et de l'Auvergne, siluriens et dévoniens de Flamanville a permis de préciser le mécanisme de production des gneiss, micaschistes, leptynites, pyroxénites, amphibolites et éclogites, aux dépens des schistes, grès, marnes et calcaires de tous âges. En même temps le granite de contact subit d'intéressantes modifications endomorphes, se chargeant, par exemple, de pyroxène et d'amphibole au contact des strates basiques; car il se fait sa place par dissolution lente de ses alentours et l'exemple de Flamanville démontre qu'il dérange fort peu les strates voisines malgré les formes souvent arrondies de ses massifs.

Dès lors, le lien paraît trouvé entre le métamorphisme de contact et le métamorphisme général : le granite apporte avec lui sa température et ses minéralisateurs sous pression. Dans les zones profondes où le métamorphisme général étend son action, la température doit être voisine de celle où les magmas granitiques sont susceptibles de se ramollir; les granites et les gneiss granitiques prennent naissance simultanément aux dépens des strates exposées à cette température et aux minéralisateurs convenables.

Ces idées reçoivent actuellement une précieuse confirmation, tant en Bretagne que dans les Pyrénées, grâce aux études de MM. Barrois et Lacroix.

En résumé, M. Michel-Lévy a cherché à démontrer que le métamorphisme de contact donne la clef des phénomènes de transformation dus au métamorphisme général et qu'il explique la genèse des roches cristallophylliennes aux dépens de dépôts clastiques d'âges divers. Dans certaines régions, les dépôts stratifiés prennent une telle épaisseur que leur base dépasse la zone de profondeur correspondant à la température de fusion hydrothermique des magmas granitiques. Dès lors il doit y avoir remise en mouvement de la partie inférieure de ces strates *per ascensum*. C'est l'idée opposée à celle de Cordier qui supposait au refroidissement terrestre une évolution suffisamment rapide pour produire constamment des consolidations durables *per descensum*.

CINQUIÈME PARTIE.

REPRODUCTION ARTIFICIELLE DES MINÉRAUX ET DES ROCHES.

(En collaboration avec M. Fouqué.)

---

1. *Sur quelques faits nouveaux de perlitisme des roches et sur la reproduction artificielle des fissures perlitiques* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. LXXXVI, p. 771; 1878).
2. *Reproduction des feldspaths par fusion et maintien prolongé à une température voisine de celle de la fusion* (*id.*, t. LXXXVII, p. 700; 1878).
3. *Reproduction artificielle des feldspaths et d'une roche volcanique complexe (labradorite pyroxénite) par fusion et maintien prolongé à une température voisine de la fusion* (*id.*, t. LXXXVII, p. 779; 1878).
4. *Production artificielle de la néphéline et de l'amphigène par voie de fusion ignée et recuit à une température voisine de la fusion* (*id.*, t. LXXXVII, p. 961; 1878).
5. *Production artificielle par voie ignée des minéraux suivants : oligoclase, labrador, anorthite, néphéline, leucite, grenat mélanite, pléonaste, fer oxydulé, pyroxène, mélilite* (Bulletin de la Société minéralogique, t. II, p. 104; 1879).
6. *Essai de reproduction de l'orthose par voie ignée* (*id.*, p. 107; 1879).
7. *Reproduction par voie ignée d'une labradorite et d'une leucitite identiques à certaines roches naturelles* (*id.*, p. 109; 1879).
8. *Production artificielle des inclusions vitreuses à bulle de gaz (cristaux négatifs), au sein des feldspaths, de la néphéline et de la leucite artificiels* (*id.*, p. 110; 1879).
9. *Sur la transformation par voie ignée d'un mélange de wernérite et d'amphibole en labrador et pyroxène, et sur la tendance des silicates fondus à reproduire les types naturels connus* (*id.*; p. 111; 1879).
10. *Minéralogie micrographique* (Paris, 1879; *voir* les *Pl. XX et XLIV*).

11. *Production artificielle de feldspaths à base de baryte, de strontiane et de plomb, correspondant à l'oligoclase, au labrador et à l'anorthite* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XC, p. 626; 1880).

12. *Production artificielle d'une leucotéphrite identique aux laves cristallines du Vésuve et de la Somma* (*id.*, t. XC, p. 698; 1880).

13. *Synthèse d'une leucotéphrite et formes élémentaires des cristaux naissants de leucite et de néphéline* (Bulletin de la Société minéralogique, t. III, p. 118; 1880).

14. *Étude des propriétés optiques des feldspaths artificiels de baryte, de strontiane et de plomb* (*id.*, p. 123; 1880).

15. *Reproduction artificielle des basaltes* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XCII, p. 367; 1881).

16. *Étude optique des feldspaths artificiels de composition intermédiaire entre l'albite et l'anorthite* (Bulletin de la Société minéralogique, t. III, p. 63; 1881).

17. *Reproduction artificielle des diabases, dolérites et météorites à structure ophitique* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XCII, p. 890; 1881).

18. *Examen de quelques produits artificiels de J. Hall* (*id.*, t. XCII, p. 1040; 1881).

19. *Reproduction artificielle des basaltes et mélaphyres labradoriques, des diabases et dolérites à structure ophitique* (Bulletin de la Société de Minéralogie, t. IV, p. 275; 1881).

20. *Reproduction artificielle des divers types de météorites* (*id.*, t. IV, p, 279; 1881).

21. *Expériences synthétiques relatives à la reproduction artificielle des météorites* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XCIII, p. 674; 1881).

22. *Synthèse des minéraux et des roches* (Paris, Masson, p. 1 à 423; 1882).

23. *Reproduction artificielle d'un trachyte micacé* (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CXIII, p. 288; 1891).

La série d'expériences précédemment énumérées a eu pour objet :
1° De reproduire les principaux minéraux des roches volcaniques;

2° De les faire naître par un procédé identique à celui que la nature a mis en œuvre;

3° Et surtout de reproduire leurs associations.

La méthode employée est la voie ignée pure. Après fusion, le mélange chimique expérimenté est soumis à un recuit prolongé. Ces expériences peuvent être considérées comme la continuation directe de celles qui ont été jadis faites par James Hall, poursuivies par Berthier et plus récemment par M. Daubrée.

Le procédé repose sur ce principe, déjà entrevu par Hall, que la température de fusion d'un silicate cristallisé est en général supérieure à celle du verre qui en provient. Si donc on maintient, pendant un temps suffisamment long, un pareil verre à une température légèrement supérieure à celle de son ramollissement, on se trouve dans des conditions favorables pour produire des arrangements moléculaires et donner naissance à des corps cristallisés qui puissent se solidifier au sein du magma visqueux.

On voit que les limites de température nécessaires à la production d'un minéral déterminé sont très rapprochées, car elles doivent osciller entre la température de fusion du minéral et celle du verre qui en résulte, et ces deux températures sont souvent très voisines l'une de l'autre.

Ces considérations expliquent la nécessité des températures déterminées qui ont dû être employées pour arriver à la cristallisation de chaque minéral. C'est ainsi qu'ont été obtenus l'oligoclase, le labrador, l'anorthite, l'amphigène, la néphéline, le grenat mélanite, le pyroxène, le péridot, l'enstatite, l'hypersthène, le spinelle, le fer oxydulé, le fer oligiste.

L'oligoclase, le labrador, l'anorthite, l'amphigène, la néphéline n'avaient pas encore été reproduits artificiellement avant les expériences en question.

La même méthode a fourni le moyen de compléter la famille des feldspaths tricliniques, en y remplaçant la chaux par la baryte, la strontiane ou l'oxyde de plomb.

Mais l'intérêt de ces expériences tient surtout à ce qu'elles permettent d'obtenir artificiellement des associations de ces divers minéraux. La composition minéralogique et les détails les plus intimes de structure

des associations ainsi produites montrent leur identité avec celles qui constituent un grand nombre de roches éruptives naturelles.

Les roches dont la synthèse a été obtenue de la sorte sont les suivantes :

Andésites, labradorites et porphyrites augitiques;

Basaltes et mélaphyres;

Leucitites, leucotéphrites;

Néphélinites;

Diabases et dolérites à structure ophitique;

Eukrites et howardites (météorites).

L'observation microscopique des roches naturelles a été un guide précieux pour la reproduction synthétique de ces associations, qui sont composées de minéraux de fusibilités très différentes.

L'examen des plaques minces indique que les minéraux des roches volcaniques ont cristallisé en deux stades distincts. Ce sont ces deux stades qu'il convenait de reproduire par deux recuits successifs à températures inégales. Les exemples naturels les plus frappants sont les suivants : dans les basaltes, le péridot est toujours en cristaux de première consolidation, autour desquels se groupent les éléments microlithiques de la roche, feldspath, pyroxène; la leucite des leucotéphrites et des leucitites a aussi cristallisé antérieurement aux minéraux qui l'accompagnent; dans les roches à structure ophitique, l'élément feldspathique est moulé par de grandes plages de pyroxène.

L'explication de ces faits ne présente aucune difficulté, car le péridot, la leucite et le feldspath se solidifient à des températures plus élevées que les éléments dont ils sont environnés. Il a donc suffi que le magma qui contient ces minéraux passât par des températures s'abaissant graduellement, pour provoquer les deux temps principaux de cristallisation de la roche. De là, dans les expériences de reproduction artificielle, la nécessité de deux recuits à des températures inégales et décroissantes.

En résumé, le principe qui préside à la formation des roches ignées consiste dans ce fait que les minéraux se consolident suivant l'ordre inverse de leurs fusibilités respectives. Il est vrai que l'observation et l'expérience révèlent quelques contradictions apparentes à cette règle.

Ainsi certains minéraux de fusion très difficile, tels que l'amphigène, renferment en inclusions des minéraux très fusibles, tels que le pyroxène. Il semblerait donc que la cristallisation du pyroxène fût antérieure à celle de l'amphigène. Mais, en réalité, le pyroxène provient ici d'inclusions vitreuses contenues primitivement dans l'amphigène et qui, après leur emprisonnement, ont continué à subir un travail de groupement moléculaire. Et en effet, en interrompant l'expérience en temps utile, on saisit la transformation en voie de s'accomplir.

Une autre contradiction apparente résulte de la formation du fer oxydulé et du spinelle cristallisés aux temps divers de consolidation et à des températures très variées. Ainsi, le péridot du basalte, formé dans le premier temps de consolidation, renferme des inclusions de ces minéraux, et on les retrouve encore accompagnant les microlites du second temps et parfois même implantés sur eux. Le même fait se reproduit dans les expériences synthétiques de fusion ignée, et chaque génération de silicates cristallisés au sein d'un verre ferrugineux est accompagnée par la production de fer oxydulé et quelquefois de spinelle.

L'explication de ce fait est à chercher dans une réaction des bases, qui se déplacent mutuellement. C'est une interprétation déjà donnée par Ebelmen. La fusibilité n'est pas, pour ces minéraux, la condition déterminante de leur cristallisation.

En résumé, ces expériences ont eu pour résultat d'augmenter considérablement le domaine de la voie ignée. Un grand nombre de roches éruptives anciennes et modernes doivent leur origine à l'action exclusive d'une fusion suivie d'un long refroidissement. Les fumerolles et les agents volatils, loin d'avoir été des adjuvants nécessaires, n'ont produit sur cette catégorie de roches que la décomposition ultérieure des minéraux primitifs et leur transformation en produits secondaires.

Postérieurement à ces expériences, dont il a été déjà rendu compte dans la Notice sur les travaux scientifiques de M. Fouqué, l'examen de divers produits artificiels de J. Hall a montré qu'il avait reproduit certains feldspaths, mais seulement à l'état cristallitique. En outre, de nombreuses expériences sur les divers types de météorites ont également prouvé qu'un assez long recuit est nécessaire pour obtenir la structure grenue et éviter les arborisations avec excès de matière vi-

treuse. Dans la dernière édition (1893) de son Manuel de Géologie, M. Geikie, qui a étudié les plaques minces de MM. Fouqué et Michel-Lévy, insiste sur leur identité avec celles provenant des roches naturelles.

Dans un livre paru en 1882, MM. Fouqué et Michel-Lévy ont résumé, non seulement leurs propres expériences synthétiques, mais encore toutes celles qui ont trait à la reproduction des minéraux et des roches.

Enfin, tout récemment, ils ont entrepris une série d'expériences, dans le but d'obtenir des fusions de magmas granitiques en présence de l'eau surchauffée. L'expérience ayant démontré que les appareils en fer ou en acier ne peuvent être portés, dans de pareilles conditions, à plus de 500° à 600°, on s'est servi de creusets en platine iridié (à 20 pour 100 d'iridium) qui résistent remarquablement au rouge. Partant d'un verre de granite de Vire, parfaitement isotrope et finement porphyrisé, on a obtenu, à des températures inférieures à celle de la fusion de l'or, des culots fondus et bulleux, tandis qu'à cette même température, en creuset ouvert, le verre de granite ne s'agglutine même pas. Les culots fondus contiennent d'innombrables microlites d'orthose et de mica noir, accompagnés de spinelle dans un restant vitreux. Malheureusement l'action de l'eau surchauffée n'est pas durable, à cause de la porosité du métal.

Il n'en est pas moins acquis qu'un magma granitique, très acide, est susceptible de fondre et même de recristalliser à une température voisine de 1000°, en présence de l'eau surchauffée. On a vu précédemment (quatrième Partie) l'importance théorique d'un pareil résultat, qui diminue de plus de moitié la profondeur que l'on attribuait au niveau de l'écorce terrestre, dans lequel granites et terrains cristallophylliens peuvent prendre naissance.

SIXIÈME PARTIE.

CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE.

1. *Feuilles au $\frac{1}{80000}$ d'Avallon, Château-Chinon, Chalon-sur-Saône, Autun, Mâcon, Charolles, Bourg, Lyon, Clermont-Ferrand, Annecy, Vallorcine, pour les terrains éruptifs, cristallophylliens et primaires.*
2. *Sur une nouvelle carte géologique de la France, à l'échelle du $\frac{1}{1000000}$, publiée par le Service de la Carte géologique de la France* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. CVII, p. 793; 1888). (En collaboration avec M. Jacquot.)
3. *Note sur les derniers travaux de G. Maillard* (Bulletin n° 22 des Services de la Carte géologique de la France et des Topographies souterraines, t. III, p. 1; 1891).

Depuis 1887, époque à laquelle M. Michel-Lévy a été nommé Directeur du Service de la Carte géologique de la France, ce Service compte soixante collaborateurs actifs, choisis parmi les Ingénieurs des Mines, les Professeurs des Facultés, les Membres de la Société géologique. La création d'un Bulletin, dont le tome V vient de paraître, a permis la publication d'un grand nombre de Mémoires importants à l'appui des feuilles au $\frac{1}{80000}$, dont soixante-dix ont paru depuis 1887. Enfin, une nouvelle carte géologique de la France au $\frac{1}{320000}$, destinée à coordonner les travaux déjà parus, a été inaugurée par la publication de la feuille de Paris, comprenant la majeure partie de son bassin tertiaire, et dont la légende a été le résultat d'une entente entre les principaux collaborateurs du Service.

DIVERS.

1. *Mémoire sur les filons de Przibram et de Mies* (Annales des Mines, t. XV, 1869). (En collaboration avec M. Choulette.)
2. *Mémoire sur les principaux champs de filons de la Saxe et de la Bohême septentrionale* (*id.*, t. XVIII, 1870). (En collaboration avec M. Choulette).
3. *Mesure de la vitesse de propagation des vibrations dans le sol* (Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. CII, p. 237; 1886). (En collaboration avec M. Fouqué.)
4. *Expériences sur la vitesse de propagation des vibrations dans le sol* (*id.*, t. CII, p. 1290; 1886). (En collaboration avec M. Fouqué.)
5. *Expériences sur la vitesse de propagation des secousses dans des sols divers* (Savants étrangers, Mission d'Andalousie, p. 57 à 77, 1889). (En collaboration avec M. Fouqué.)

21298 Paris. — Imprimerie Gauthier-Villars et fils, quai des Grands-Augustins, 55.